

10/500951

TO 30 DEC 2003 PCT/EP 01/07431  
BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



REC'D 18 JUL 2001

WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:**

100 32 599.8

**Anmeldetag:**

07. Juli 2000

**Anmelder/Inhaber:**

LEO Elektronenmikroskopie GmbH,  
Oberkochen/DE

**Bezeichnung:**

Detektor für variierende Druckbereiche und Elektro-  
nenmikroskop mit einem entsprechenden Detektor

**IPC:**

H 01 J 37/244

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 09. April 2001  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Agurke

A 9161  
06/00  
EDV-L

Beschreibung:

00052 P

Detektor für variierende Druckbereiche und Elektronenmikroskop mit  
einem entsprechenden Detektor

Die Erfindung betrifft einen Detektor für die in einem Teilchenstrahlgerät durch Wechselwirkung eines Primärstrahles mit einer zu untersuchenden Probe entstehenden Wechselwirkungsprodukte, insbesondere Rückstreuелеktronen und Sekundärelektronen.

Üblicherweise werden für den Nachweis von Sekundärelektronen oder Rückstreuелеktronen in Rasterelektronenmikroskopen sogenannte Everhard-Thornley Detektoren (ETD) verwendet, bei denen die auf der Probenoberfläche ausgelösten Sekundärelektronen oder Rückstreuелеktronen durch ein Absauggitter von der Probe zu dem Detektor hin weggesaugt werden und anschließend auf einen auf einem Hochspannungspotential von etwa 10 kV liegenden Szintillator beschleunigt werden. Beim Auftreffen der hochkinetischen Elektronen auf dem Szintillator werden Photonen erzeugt, die über einen transparenten Lichtleiter einem Lichtdetektor, beispielsweise einem Photomultiplier zugeführt werden.

Derartige Everhard-Thornley Detektoren sind bei variierenden Gasdrücken im Bereich des Detektors, insbesondere wenn der Umgebungsdruck des Detektors oberhalb  $10^{-3}$  hPa beträgt, nicht einsetzbar, da durch die erhöhte Leitfähigkeit des Restgases die an den Szintillator angelegte Hochspannung zu Überschlügen führt.

Bei Drücken oberhalb  $10^{-3}$  hPa in der Präparatkammer wird zur indirekten Detektion der vom Primärstrahl ausgelösten Sekundärelektronen üblicherweise ein Absaugpotential von bis zu 400 V an eine Elektrode angelegt, um die ausgelösten Sekundärelektronen von der Probe weg zu beschleunigen. Dabei entsteht durch Stöße der Sekundärelektronen eine Gaskaskade. In dieser Gaskaskade entstehen weitere, tertiäre Elektronen sowie zusätzlich durch Szintillationseffekte Photonen. Die Signalerfassung erfolgt dann entweder über die Messung des Elektronenstroms oder durch Detektion der Photonen. Entsprechende

Detektionsprinzipien sind beispielsweise in der US 4,785,182 und der WO 98/22971 beschrieben.

Geräte, die zum Betrieb unter variierenden Druckverhältnissen in der Präparatkammer ausgelegt sind, mit denen also die elektronenmikroskopische Untersuchung von Proben sowohl unter Hochvakuumbedingung erfolgen kann als auch unter sogenannten Umgebungsbedingungen, bei denen der Druck in der Präparatkammer über  $10^{-3}$  hPa beträgt, müssen für die verschiedenen Betriebsmodi verschiedene Detektoren aufweisen. Ziel der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, einen Detektor zu schaffen, der sowohl unter Hochvakuumbedingungen als auch bei hohen Drücken in der Präparatkammer eines Elektronenmikroskopes einsetzbar ist.

Dieses Ziel wird durch einen Detektor mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Merkmalen der abhängigen Ansprüche.

Ein erfindungsgemäßer Detektor ist sowohl für den Nachweis von Elektronen als auch für den Nachweis von Licht ausgelegt. Der Nachweis der Elektronen erfolgt dabei indirekt über in einem Szintillator erzeugte Photonen, die nachfolgend mit einem Lichtdetektor detektiert werden.

Der Szintillator ist in einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel mit einem Hochspannungspotential beaufschlagbar und ist für Licht in einem Spektralbereich, vorzugsweise im sichtbaren Spektralbereich, durchlässig ausgebildet. Für die Beaufschlagung des Szintillators mit einem Hochspannungspotential kann der Szintillator gitter- oder streifenweise mit einer elektrisch leitenden Beschichtung versehen sein. Alternativ kann auf dem Szintillator eine elektrisch leitende, für sichtbares Licht durchlässige Beschichtung vorgesehen sein.

Weiterhin sollte der Detektor ein Kollektorgitter aufweisen, das auf der dem Lichtdetektor abgewandten Seite des Szintillators angeordnet ist und ebenfalls mit einem Potential

beaufschlagbar ist. Der Szintillator und das Kollektorgitter sollten dabei unabhängig voneinander mit regelbaren Spannungen beaufschlagbar sein.

Die Funktionsweise eines entsprechenden Detektors unter Hochvakuumbedingungen ist analog zu der Funktionsweise eines Everhard-Thornley Detektors. Der Szintillator wird dazu unter Hochvakuumbedingungen mit einem Potential von etwa 10 kV (zwischen 5 kV und 15 kV) beaufschlagt, so daß die auf den Szintillator auftreffenden hochenergetischen Elektronen Photonen erzeugen, die nachfolgend mit dem Lichtdetektor nachgewiesen werden. Bei Drücken in der Präparatkammer über  $10^{-3}$  hPa wird entweder das Kollektorgitter oder der Szintillator oder beide auf ein niedriges Potential zwischen 50 V und 1000 V, vorzugsweise zwischen 100 und 500 V, gelegt, so daß die von den Primärelektronen aus der Probe ausgelösten Sekundärelektronen oder Rückstreuelektronen eine Gaskaskade mit Szintillationseffekten auf dem Weg von der Probe zum Szintillator bzw. Kollektorgitter erzeugen. Durch die transparente Szintillatorbeschichtung werden dann die in der Gaskaskade erzeugten Photonen mit dem Lichtdetektor detektiert. Der Wert der an dem Szintillator oder an das Kollektorgitter angelegten Spannung ist dabei vom gewählten Druck in der Präparatkammer und Geometriefaktoren abhängig.

Durch Variation der Spannung am Kollektorgitter ist es zusätzlich möglich, zwischen Sekundärelektronen und an der Probe zurückgestreuten Elektronen zu unterscheiden. Liegt sowohl das Kollektorgitter als auch der Szintillator auf demselben Potential wie die Probe, so entsteht keine Gaskaskade und das mit dem Lichtdetektor durch den transparenten Szintillator hindurch detektierte Lichtsignal ist ein Signal, das ausschließlich von an der Probe zurückgestreuten Elektronen her rührt.

Bei einem weiterhin vorteilhaften Ausführungsbeispiel weist der Detektor einen Lichtleiter auf. Der Lichtleiter kann dabei selbst aus einem Szintillatormaterial bestehen. Ein solcher Lichtleiter dient dabei zu einer effizienten Leitung der im Szintillator erzeugten Photonen zum Lichtdetektor.

Bei hohen Drücken in der Umgebung des Detektors kann zusätzlich zum Lichtsignal auch der Elektronenstrom auf dem Absauggitter und/oder auf dem elektrisch leitend beschichteten Szintillator nachgewiesen werden.

Nachfolgend werden Einzelheiten der Erfindung anhand des in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Im einzelnen zeigen:

Figur 1: Eine Prinzipskizze eines erfindungsgemäßen Detektors im Schnitt beim Betrieb im Hochvakuum;

Figur 2: den Detektor aus Figur 1 beim Betrieb in einem Druckbereich oberhalb  $10^{-3}$  hPa; und

Figur 3: eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Detektors beim Betrieb in einem Druckbereich oberhalb  $10^{-3}$  hPa.

Der Detektor in Figur 1 enthält einen Lichtdetektor (1), beispielsweise in Form eines Photomultipliers oder einer Avalanche Photodiode, dem Lichtdetektor (1) vorgeschaltet einen Lichtleiter (2) und an der vom Lichtdetektor (1) abgewandten Stirnfläche des Lichtleiters (2) einen Szintillator (3).

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß der Lichtleiter (2) nicht zwingend notwendig ist, sondern der Szintillator auch unmittelbar vor dem Lichtdetektor (1) angebracht sein kann. In diesem Fall müßte allerdings der Lichtdetektor (1) innerhalb der Präparatkammer des Elektronenmikroskopes angeordnet werden, während mit Lichtleiter (2) der Lichtdetektor (1) außerhalb der Präparatkammer angeordnet sein kann, da das innerhalb der Präparatkammer im Szintillator erzeugte Licht durch den Lichtleiter (2) zum Lichtdetektor (1) geleitet wird.

Weiterhin sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß der Lichtleiter (2) selbst auch als Szintillator ausgebildet sein kann, so daß dann auf eine separate Szintillatorschicht (3) verzichtet werden kann.

Der Szintillator (3) besteht aus einem für sichtbares Licht transparenten Material, beispielsweise einem üblichen Plastiksintillator. Auf der vom Lichtdetektor (1) abgewandten Seite ist der Szintillator (3) mit einer elektrisch leitenden, für sichtbares Licht durchlässigen Beschichtung (4) versehen. Die elektrisch leitende Beschichtung (4) kann dazu als übliche Metallschicht ausgebildet sein, die gitter- oder streifenförmig oder als dünner Metallfilm, beispielsweise aus Titan oder Gold, mit einer Dicke zwischen 5 nm und 30 nm, vorzugsweise mit einer Dicke zwischen 3 und 30 nm, auf die Stirnfläche des Lichtleiters (2) aufgebracht ist. Alternativ kommt auch eine durchgängige Beschichtung mit einem elektrisch leitenden, lichtdurchlässigen Material, beispielsweise ITO, in Frage.

Der Einheit aus Lichtleiter (2), Szintillator (3) und transparente, elektrisch leitende Beschichtung (4) ist in einem Abstand von einem Kollektorgitter (5) umgeben.

Unter Hochvakuumbedingungen, also bei Drücken in der Präparatkammer unter  $10^{-3}$  hPa, ist der Szintillator (3) bzw. die elektrisch leitende, lichtdurchlässige Beschichtung (4) des Szintillators (3) mit einem Potential von 5 kV bis 15 kV beaufschlagt. Das Kollektorgitter (5) ist, je nach dem ob an der Probe (6) zurückgestreute Elektronen (BSE) oder an der Probe (6) erzeugte Sekundärelektronen (SE) detektiert werden sollen, mit einem bzgl. der Polarität umkehrbaren, Potential von etwa 400 V beaufschlagt. Ist der Nachweis nur von Rückstreuelektronen (BSE) gewünscht, so wird das Kollektorgitter mit einem gegenüber der Probe (6) negativen Potential beaufschlagt. Durch dieses negative Potential werden die Sekundärelektronen, die nur mit einer geringen Energie von einigen Elektronenvolt aus der Probe (6) austreten, durch das Kollektorgitter vom Szintillator (3) abgehalten. Auf den Szintillator (3) treffen demzufolge nur diejenigen Elektronen auf, die aufgrund ihrer höheren kinetischen Energie das Gegenpotential des Kollektorgitters überwinden können. Dieses sind die an der Probe (6) zurückgestreuten Elektronen. Diese zurückgestreuten Elektronen werden zwischen dem Kollektorgitter (5) und dem Szintillator (3) auf das Szintillatorpotential beschleunigt und erzeugen aufgrund ihrer hohen Energie im

Szintillator (3) Photonen, die vom Lichtleiter (2) zum Lichtdetektor (1) geleitet und dort nachgewiesen werden.

Ist der Nachweis von aus der Probe (6) durch die Primärelektronen PE ausgelösten Sekundärelektronen gewünscht, wird an das Kollektorgitter (5) ein gegenüber dem Potential der Probe (6) positives Potential angelegt. Durch dieses positive Potential des Kollektorgitters werden die aus der Probe (6) ausgelösten Sekundärelektronen abgesaugt und nachfolgend zwischen dem Kollektorgitter (5) und dem Szintillator (3) auf das Szintillatorpotential beschleunigt. In diesem Fall lösen auch die beschleunigten Sekundärelektronen aufgrund ihrer hohen kinetischen Energie im Szintillator (3) Photonen aus, die nachfolgend mit dem Lichtdetektor (1) nachgewiesen werden. Zwar treffen bei gegenüber dem Probenpotential positivem Potential des Kollektorgitters auch an der Probe (6) zurückgestreute Elektronen auf den Szintillator (3) auf, jedoch wird von sämtlichen an der Probe (6) zurückgestreuten Elektronen nur ein sehr kleiner Raumwinkelbereich erfaßt, während die Sekundärelektronen wegen ihrer geringeren kinetischen Energie beim Austritt aus der Probe (6) nahezu unabhängig von ihrer Austrittsrichtung erfaßt werden. Aus diesem Grund ist das mit dem Lichtdetektor (1) detektierte Signal bei gegenüber dem Probenpotential positiven Potential des Kollektorgitters primär durch die aus der Probe (6) austretenden Sekundärelektronen bestimmt, während die an der Probe (6) zurückgestreuten Elektronen nur einen vergleichsweise geringen Signaluntergrund verursachen.

Beim Betrieb des Detektors unter hohen Kammerdrücken (Figur 2) liegt der Szintillator (3) auf dem Potential der Probe (6). Das Kollektorgitter wird gleichzeitig mit einem variierbaren Potential zwischen 0 und + 400 V gegenüber dem Potential der Probe (6) beaufschlagt. Falls nur der Nachweis der an der Probe (6) zurückgestreuten Elektronen gewünscht ist, wird das Kollektorgitter auf das Potential der Probe (6) gelegt. Die an der Probe (6) zurückgestreuten und aufgrund ihres Rückstreuwinkels auf den Szintillator (3) auftreffenden Rückstreuelektronen erzeugen im Szintillator (3) wiederum, wie beim Hochvakuumbetrieb, aufgrund ihrer relativ hohen kinetischen Energie Photonen, die nachfolgend mit dem Lichtdetektor (1) nachgewiesen werden. Ist hingegen der Nachweis von Sekundärelektronen gewünscht, wird das Kollektorgitter mit einem gegenüber dem Probenpotential (6) positiven Potential beaufschlagt. Die aus der Probe (6) austretenden

Sekundärelektronen werden dann auf das Kollektorgitter hinzu beschleunigt und erzeugen durch Stöße mit den Gasatomen auf diesem Weg die bekannte Gaskaskade und die gleichzeitig mit der Gaskaskade auftretenden Photonen. Diese Photonen passieren die für sichtbares Licht transparente elektrisch leitende Beschichtung (4), den ebenfalls für sichtbares Licht durchlässigen Szintillator (3) und werden nachfolgend vom Lichtleiter (2) zum Lichtdetektor (1) geleitet. Zusätzlich oder alternativ zur Erfassung der erzeugten Photonen kann in diesem Betriebsmodus auch der durch die Gaskaskade erzeugte, mit dem Kollektorgitter bzw. mit der elektrisch leitenden Beschichtung (4) erfaßte Elektronenstrom zur Signalgewinnung herangezogen werden.

Der Detektor in Figur 3 hat im Prinzip denselben Aufbau wie der Detektor in Figur 1. Deshalb sind in der Figur 3 diejenigen Komponenten, die denen in Figur 1 entsprechen, mit den selben Bezugszeichen versehen. Hinsichtlich einer detaillierten Beschreibung dieser Komponenten und des Betriebes dieses Detektors im Hochvakuum wird deshalb auf die vorstehende Beschreibung zur Figur 1 verwiesen.

Beim Ausführungsbeispiel nach Figur 3 ist zusätzlich zu der Spannungsquelle (8) für die Potentialbeaufschlagung des Kollektorgitters (5) und eine Spannungsquelle (9) zur Einstellung eines variablen Probenpotentials eine weitere Spannungsquelle (7) vorgesehen, durch die die elektrisch leitende Beschichtung (4) des Szintillators (3) auf ein gegenüber dem Kollektorgitter (5) positives Potential  $U_S$  gelegt werden kann. Das Potential der elektrisch leitenden Beschichtung (4) gegenüber dem Kollektorgitter (5) ist dabei variierbar. Durch Anlegen dieser zusätzlichen Spannung  $U_S$  zwischen der elektrisch leitenden Beschichtung (4) des Szintillators (3) und dem Kollektorgitter (5) wird zwischen dem Kollektorgitter (5) und dem Szintillator (3) eine weitere Gaskaskade ausgebildet. Zur Signalgewinnung kann wiederum sowohl das mit dem Lichtdetektor (1) detektierte Lichtsignal als auch der auf das Kollektorgitter (5) und/oder die elektrisch leitende Beschichtung (4) einfallende Elektronenstrom detektiert werden, wozu an das Kollektorgitter (5) ein entsprechender Stromverstärker (10) und an die elektrisch leitende Beschichtung (4) ein zweiter Stromverstärker (11) angeschlossen ist. Durch Variation der Spannung des Kollektorgitters (5) gegenüber dem Probenpotential einerseits und der Spannung zwischen der elektrisch leitenden Beschichtung (4) und dem Kollektorgitter (5)



kann gegenüber dem Ausführungsbeispiel nach Figur 1 und 2 mit erhöhter Genauigkeit zwischen den von Sekundärelektronen erzeugten Signalen und dem von Rückstreuelektronen erzeugten Signal unterschieden werden.

Insbesondere ist es bei diesem Ausführungsbeispiel auch möglich, das Kollektorgitter (5) nur so schwach mit gegenüber dem Probenpotential positivem Potential und die leitende Beschichtung (4) des Szintillators so stark mit gegenüber dem Kollektorgitter (5) positivem Potential zu beaufschlagen, daß die aus der Probe austretenden Sekundärelektronen zwar effizient durch das Potential des Kollektorgitters abgesaugt werden, jedoch zwischen der Probe und dem Kollektorgitter noch keine Gaskaskade mit der damit verbundenen Sekundärelektronenvervielfachung entsteht, sondern die Gaskaskade erst zwischen dem Kollektorgitter (5) und dem Szintillator entsteht. Da die Gaskaskade dadurch in der Nähe des Szintillators lokalisiert ist und die bei der Ausbildung der Gaskaskade entstehenden Photonen in diesem lokalisierten Raum entstehen, erfolgt der Nachweis der Photonen mit einem höheren Wirkungsgrad. Weiterhin ist es durch eine separate Regelung des Druckes zwischen dem Kollektorgitter und dem Szintillator, z.B. durch Ausbildung des Kollektorgitters als Topf mit einer relativ kleinen, der Probe zugewandten Öffnung, die eine „Druckstufenblende“ bildet und durch einen gezielten Gaseinlaß in das Innere des Topfes, möglich, zwischen dem Kollektorgitter und dem Szintillator einen vom Kammerdruck abweichenden und bis zu einem gewissen Grad unabhängigen Druck einzustellen. Dadurch resultiert dann eine vom Druck in der Kammer bis zu diesem Grad unabhängige Ausbildung der Gaskaskade und entsprechende unabhängige Verstärkung der Sekundärelektronen und Photonen. Auch läßt sich durch diese Maßnahmen eine Vervielfachung der Sekundärelektronen auch dann erreichen, wenn der Druck in der Präparatkammer selbst für die Ausbildung einer Gaskaskade zu gering ist.

Patentansprüche:

1. Detektor für variierende Druckbereiche in der Präparatkammer eines Teilchenstrahlgerätes, wobei der Detektor sowohl für die Detektion von Elektronen als auch für die Detektion von Licht ausgelegt ist.
2. Detektor nach Anspruch 1, wobei der Detektor einen mit einem Hochspannungspotential beaufschlagbaren Szintillator (3) und einen Lichtdetektor (1) aufweist und der Szintillator (3) mindestens teilweise lichtdurchlässig ausgebildet ist.
3. Detektor nach Anspruch 2, wobei der Szintillator (3) eine gitterartig oder streifenweise ausgebildete elektrisch leitende Beschichtung aufweist.
4. Detektor nach Anspruch 2, wobei der Szintillator (3) eine für Licht durchlässige, elektrisch leitende Beschichtung aufweist.
5. Detektor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei ein Lichtleiter (2) vorgesehen ist.
6. Detektor nach Anspruch 5, wobei der Lichtleiter (2) aus Szintillatormaterial besteht.
7. Detektor nach einem der Ansprüche 2 bis 5, wobei ein dem Szintillator vorgeschaltetes Kollektorgitter (5) vorgesehen ist.
8. Detektor nach Anspruch 7, wobei der Szintillator (3) und das Kollektorgitter (5) unabhängig voneinander mit regelbaren Potentialen beaufschlagbar sind.
9. Detektor nach Anspruch 7 oder 8, wobei das Kollektorgitter (5) mit einem variierbaren, gegenüber dem Probenpotential positiven Potential beaufschlagbar ist.
10. Detektor nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei an das Kollektorgitter (5) und /oder an die leitende Beschichtung (4) des Szintillators (3) Stromverstärker angeschlossen sind.

11. Detektor nach einem der Ansprüche 8 bis 10, wobei die leitende Beschichtung (4) des Szintillators (3) gegenüber dem Kollektorgitter (5) mit einem Potential beaufschlagt ist, daß zwischen dem Kollektorgitter (5) und der leitenden Beschichtung (4) eine Gaskaskade entsteht.
12. Teilchenstrahlgerät, insbesondere Rasterelektronenmikroskop, mit einer Präparatkammer, deren Kammerdruck variierbar ist, mit einem elektronenoptischen System zur Erzeugung eines fokussierten Elektronenstrahls (PE) und mit einem Detektor nach einem der Ansprüche 1 bis 11.
13. Verfahren zum Nachweis von Wechselwirkungsprodukten in einem Teilchenstrahlgerät unter variierbaren Druckbedingungen, wobei unter Hochvakuumbedingungen das bei Auftreffen der Wechselwirkungsprodukte auf einem Szintillator entstehende Licht und bei Umgebungsdruck oder schwachen Vakuumbedingungen durch Wechselwirkung der Wechselwirkungsprodukte mit Gasmolekülen entstehendes Licht mit demselben Lichtdetektor (1) detektiert und nachfolgend ausgewertet wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei ein Detektor nach einem der Ansprüche 1 bis 11 eingesetzt wird.

Zusammenfassung:

Detektor für variierende Druckbereiche und Elektronenmikroskop mit  
einem entsprechenden Detektor

(Fig. 1)

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Detektor für Elektronenmikroskope, insbesondere Rasterelektronenmikroskope, der unter verschiedenen Druckverhältnissen in der Präparatkammer des Elektronenmikroskopes einsetzbar ist. Der Detektor ist sowohl zum Nachweis von Elektronen als auch von Licht ausgelegt. Der Detektor weist dazu einen Lichtdetektor (1) und einen dem Lichtdetektor (1) vorgeschalteten Szintillator aus einem für sichtbares Licht durchlässigen Szintillatormaterial auf. Der für sichtbares Licht durchlässige Szintillator (3) kann weiterhin mit einer für sichtbares Licht transparenten Beschichtung (4) versehen sein. Durch unterschiedliche Potentialbeaufschlagungen ist der Detektor im Hochvakuum zum Nachweis von Elektronen und bei hohen Drücken in der Präparatkammer zum Nachweis von Licht geeignet.

Fig 1

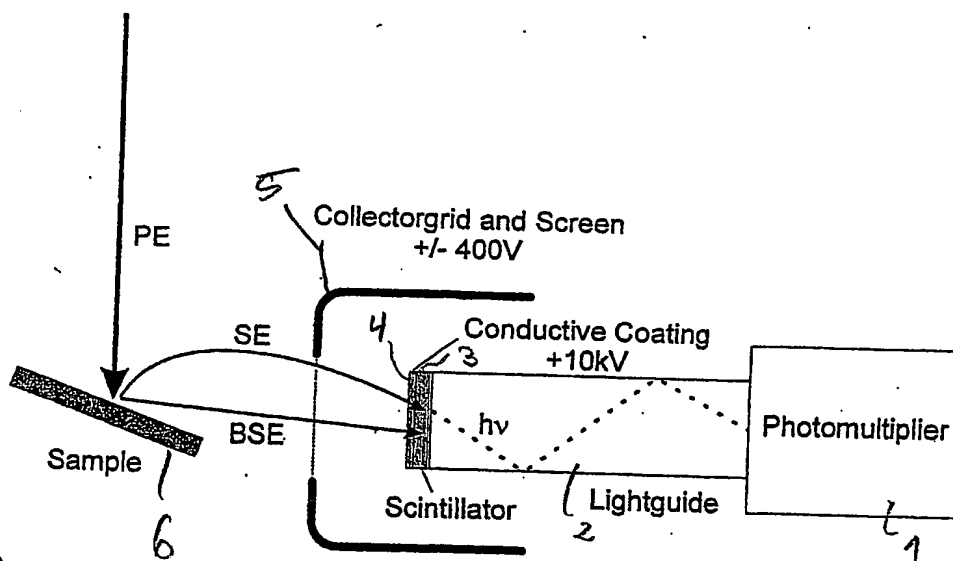


Fig 2

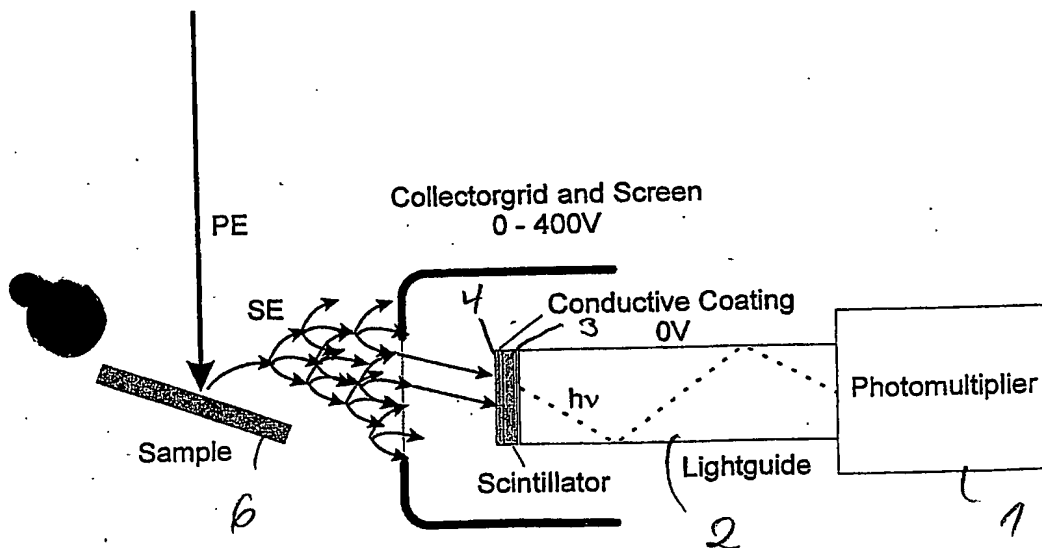


Fig 3

